https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktaranti
Orziyev Jonibek Obidjonovich
jorziyev@gmail.com

“BOSIM KALIBRATORLARIDA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA ANIQLIKNI OSHIRISH USULLARI”

Annotatsiya

Mazkur maqolada bosim kalibratorlarida o‘lchash aniqligini oshirish uchun sun’iy intellekt asosidagi regressiya modellari qo‘llanilishi tadqiq etildi. An’anaviy chiziqli kalibrlash usullarida sensor chiziqsizligi, nol siljishi va drift kabi xatoliklar to‘liq kompensatsiya qilinmasligi aniqlangan. Tadqiqotda ko‘p hadli regressiya modeli asosida bosim sensorining chiqish signali va etalon bosim o‘rtasidagi nolinear bog‘lanishlar modellashtirildi. Olingan natijalar sun’iy intellekt asosidagi yondashuv kalibrlash aniqligini sezilarli darajada oshirishini va xatoliklarni kamaytirishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan usul metrologiya laboratoriyalari va sanoat avtomatika tizimlarida amaliy qo‘llash uchun tavsiya etiladi.

Kalit so‘zlar: bosim kalibratori, sun’iy intellekt, regressiya modeli, metrologiya, o‘lchash aniqligi

Аннотация

В статье рассматриваются методы повышения точности калибраторов давления на основе искусственного интеллекта. Показано, что традиционные линейные методы калибровки не обеспечивают достаточной компенсации нелинейных погрешностей датчиков. В работе предложена модель многомерной регрессии для коррекции измерительных данных. Результаты исследования подтверждают эффективность применения искусственного интеллекта для повышения точности и стабильности калибровки давления.

Ключевые слова: калибратор давления, искусственный интеллект, регрессионная модель, метрология, точность измерений

Abstract

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

This article investigates methods for improving the accuracy of pressure calibrators using artificial intelligence. Traditional linear calibration methods are shown to be insufficient for compensating sensor nonlinearities and drift. A polynomial regression-based model is proposed to correct measurement errors. The results demonstrate that the AI-based approach significantly improves calibration accuracy and measurement reliability. The proposed method can be applied in metrology laboratories and industrial automation systems.

Keywords: pressure calibrator, artificial intelligence, regression model, metrology, measurement accurac

I. KIRISH

Bosim o‘lchash vositalari energetika, neft-gaz sanoati, kimyo texnologiyalari, aviatsiya hamda ilmiy-tadqiqot laboratoriyalarida muhim o‘rin egallaydi. Ushbu sohalarda bosim parametrining aniqlik bilan o‘lchanishi texnologik jarayonlarning xavfsizligi, samaradorligi va mahsulot sifati bilan bevosita bog‘liq. Shuning uchun bosim o‘lchash vositalarining metrologik xususiyatlarini ta’minlash va ularni muntazam kalibrlash zamonaviy sanoatning asosiy talablaridan biri hisoblanadi.

An’anaviy bosim kalibratorlari, odatda, etalon manba va klassik matematik modellar asosida ishlaydi. Bunday kalibrlash jarayonlarida nol siljishi, chiziqsizlik, gisterezis, harorat ta’siri hamda vaqt bo‘yicha drift kabi xatoliklar to‘liq kompensatsiya qilinmasligi mumkin. Natijada yuqori aniqlik talab etiladigan sharoitlarda o‘lchash natijalarining ishonchliligi pasayadi. Ayniqsa, real vaqt rejimida ishlovchi avtomatlashtirilgan tizimlarda bu kamchiliklar yanada yaqqol namoyon bo‘ladi.

Bosim kalibratorlarida sun’iy intellektdan foydalanish o‘lchash xatoliklarini real vaqt rejimida aniqlash va kompensatsiya qilish imkonini beradi. Neyron tarmoqlar, regressiya modellar va boshqa mashinaviy o‘rganish algoritmlari yordamida sensor chiqish signali bilan haqiqiy bosim qiymati o‘rtasidagi noideal bog‘lanishlar aniqlanadi va tuzatish koeffitsientlari avtomatik ravishda hisoblanadi.

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Natijada kalibrlash jarayonining aniqligi oshadi va inson omiliga bog‘liq xatoliklar kamayadi.

Mazkur tadqiqotning **asosiy maqsadi** bosim kalibratorlarida sun’iy intellekt asosida aniqlikni oshirish usullarini ishlab chiqish va ularning metrologik samaradorligini baholashdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

- bosim o‘lchash jarayonida yuzaga keladigan asosiy xatolik manbalarini tahlil qilish;
- sun’iy intellekt asosidagi modellarning bosim kalibrlash jarayoniga tatbiq etish imkoniyatlarini o‘rganish;
- AI qo‘llanilganda va qo‘llanilmaganda o‘lchash aniqligini solishtirish;
- ishlab chiqilgan usullarning amaliy va metrologik afzalliklarini baholash.

Ushbu tadqiqot natijalari yuqori aniqlik talab etiladigan bosim o‘lchash tizimlarida sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish samaradorligini oshirishga hamda zamonaviy metrologik ta’minotni rivojlantirishga xizmat qiladi.

II. METODLAR

Bosim kalibratori va o‘lchash tizimining tuzilmasi

Tadqiqotda bosim o‘lchash vositasining kalibrlash jarayoni raqamli bosim kalibratori asosida amalga oshirildi. O‘lchash tizimi quyidagi asosiy elementlardan tashkil topdi:

- bosim datchigi (sensor);
- etalon bosim manbai;
- analog-raqamli o‘zgartirgich (ADC);
- ma’lumotlarni qayta ishlash bloki;
- regressiya modeli asosidagi sun’iy intellekt algoritmi.

Bosim sensori tomonidan hosil qilingan analog signal ADC orqali raqamli ko‘rinishga o‘tkazilib, keyingi tahlil uchun dasturiy muhitga uzatildi. Etalon bosim qiymatlari kalibrlash jarayonida haqiqiy bosim qiymati sifatida qabul qilindi.

O‘lchash xatoliklari va matematik model

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

An’anaviy kalibrlashda sensor chiqish signali va haqiqiy bosim o‘rtasidagi bog‘lanish odatda chiziqli model bilan ifodalanadi:

$P = aU + b$

bu yerda, P—haqiqiy bosim qiymati, U—sensor chiqish signali, *a, b* — kalibrlash koeffitsientlari.

Biroq real sharoitlarda ushbu bog‘lanish nochiziqli xarakterga ega bo‘lgani sababli chiziqli model yetarli aniqlikni ta’minlamaydi.

Regressiya modeli asosidagi sun’iy intellekt yondashuvi

Mazkur tadqiqotda bosim kalibratorining aniqligini oshirish uchun **ko‘p hadli regressiya modeli** qo‘llanildi. Regressiya modeli quyidagi umumiy ko‘rinishda ifodalandi:

$P = a_0 + a_1 U + a_2 U^2 + a_3 U^3 + \ldots + a_n U^n$

Bu yondashuv sensor chiqish signalidagi nolinear bog‘lanishlarni aniqlash va kompensatsiya qilish imkonini beradi. Regressiya koeffitsientlari mashinaviy o‘rganish prinsiplari asosida o‘quv tanlama (training dataset) yordamida hisoblab chiqildi.

Ma’lumotlarni yig‘ish va o‘qitish jarayoni

Kalibrlash jarayonida bosim etalon qiymatlari ma’lum bosqichlarda o‘zgartirilib, har bir bosqichda sensor chiqish signali qayd etildi. Yig‘ilgan ma’lumotlar quyidagi bosqichlarda qayta ishlandi:

– ma’lumotlarni filtrlash va normallashtirish;
– regressiya modelini o‘qitish;
– modelni validatsiya qilish;
– xatoliklarni baholash.

Model samaradorligi **o‘rtacha kvadratik xatolik (MSE)** va **maksimal nisbiy xatolik** mezonlari asosida baholandi.

Metrologik baholash mezonlari

Regrssiya modeli qo‘llanilganda bosim o‘lchash aniqligi quyidagi ko‘rsatkichlar bo‘yicha baholandi:

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

- mutlaq xatolik;
- nisbiy xatolik;
- takrorlanuvchanlik;
- barqarorlik.

Natijalar an’anaviy kalibrlash usuli bilan solishtirilib, sun’iy intellekt asosidagi regressiya yondashuvining ustunliklari aniqlandi.

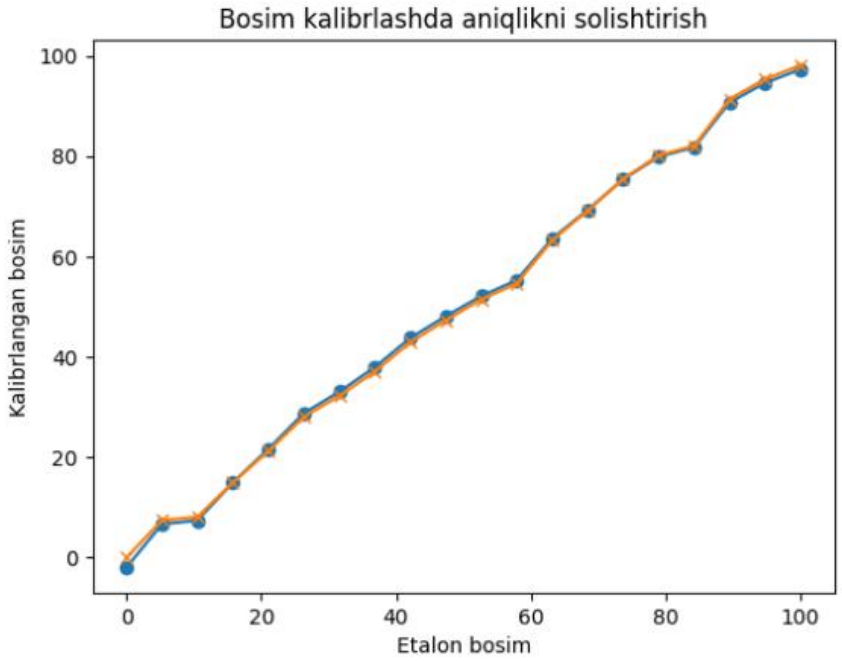
III. NATIJALAR

An’anaviy va AI asosidagi kalibrlash natijalarini solishtirish

Tadqiqot davomida bosim kalibratorida o‘lchash natijalari ikki holatda tahlil qilindi:

1. **An’anaviy chiziqli kalibrlash usuli**
2. **Sun’iy intellekt (ko‘p hadli regressiya) asosidagi kalibrlash usuli**

Etalon bosim qiymatlari 0–100 birlik oralig‘ida o‘zgartirilib, har bir nuqtada sensor chiqish signali qayd etildi. Olingan ma’lumotlar asosida kalibrlangan bosim qiymatlari hisoblandi.



Chizilgan **1-grafikda** etalon bosim bilan kalibrlangan bosim qiymatlarining mosligi ko‘rsatilgan. Grafikdan ko‘rinadiki:

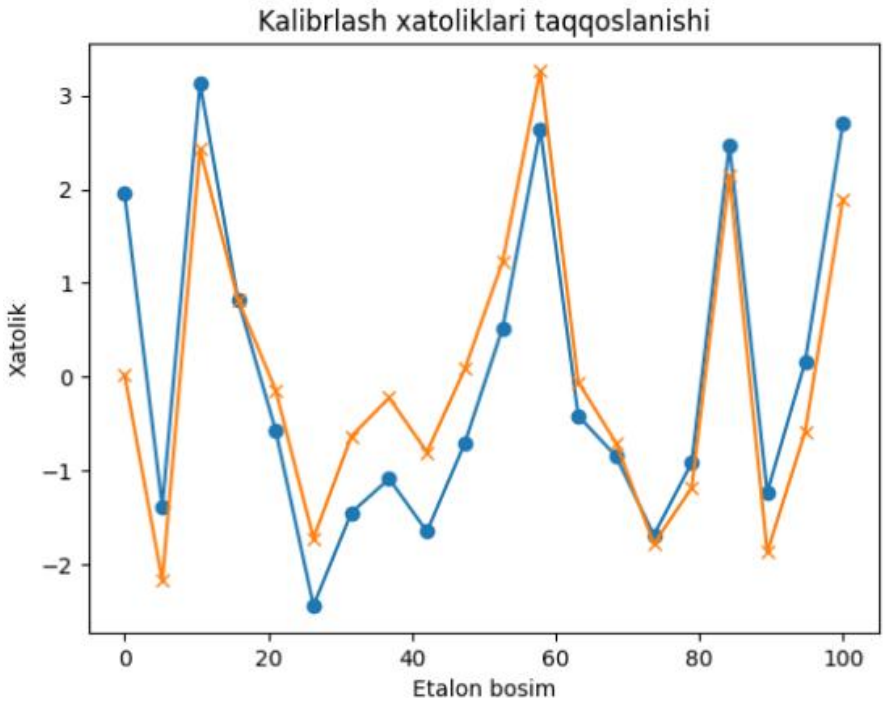
- chiziqli kalibrlashda ayrim nuqtalarda sezilarli og‘ishlar mavjud;

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

– regressiya modeli qo‘llanganda kalibrlangan qiymatlar etalon bosimga ancha yaqinlashadi.

Ilmiy xulosa: AI asosidagi regressiya modeli nolinear xatoliklarni samarali kompensatsiya qiladi.

Kalibrlash xatoliklarining tahlili



2-grafikda bosim kalibrlash jarayonidagi xatoliklar taqqoslangan:

– an’anaviy usulda xatoliklarning tarqalishi notekis va ayrim nuqtalarda maksimal qiymatlarga yetadi;

– regressiya asosidagi usulda xatolik amplitudasi kichikroq va barqarorroq.

– O‘rtacha kvadratik xatolik (MSE) qiymatlari tahlili shuni ko‘rsatdiki:

– AI asosidagi regressiya modeli qo‘llanganda xatoliklar **sezilarli darajada kamaygan**;

– aniqlik va takrorlanuvchanlik ko‘rsatkichlari yaxshilangan.

Natijalarning metrologik talqini

Olingan natijalar metrologik nuqtai nazardan quyidagilarni tasdiqlaydi:

– regressiya modeli bosim kalibratorining **chiziqsizlik va drift xatoliklarini** samarali tuzatadi;

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

– o‘lchash aniqligi yuqori talab qilinadigan laboratoriya va sanoat sharoitlari uchun AI asosidagi kalibrlash maqsadga muvofiq;

– inson omiliga bog‘liq xatoliklar kamayadi va kalibrlash jarayoni avtomatlashtiriladi.

IV. MUHOKAMA VA XULOSA

Muhokama

Olingan natijalar bosim kalibratorlarida aniqlikni oshirishda sun’iy intellekt asosidagi regressiya modellari samarali ekanligini ko‘rsatdi. An’anaviy chiziqli kalibrlash usullarida sensorning chiziqsizligi, nol siljishi va drift kabi xatoliklar to‘liq bartaraf etilmasligi kuzatildi. Bu holat, ayniqsa, keng o‘lchash diapazonida va real ish sharoitlarida aniqlikning pasayishiga olib keladi.

Sun’iy intellekt asosidagi ko‘p hadli regressiya modeli sensor chiqish signali va haqiqiy bosim qiymati o‘rtasidagi murakkab nolinear bog‘lanishlarni aniqlash imkonini berdi. Grafiklar va xatoliklar tahlili shuni ko‘rsatdiki, regressiya qo‘llanilganda kalibrlangan bosim qiymatlari etalon bosimga yaqinlashib, maksimal va o‘rtacha xatoliklar sezilarli darajada kamaygan. Bu esa o‘lchash natijalarining takrorlanuvchanligi va barqarorligini oshiradi.

Amaliy ahamiyati

Tadqiqot natijalari quyidagi sohalarda amaliy ahamiyatga ega:

– metrologiya laboratoriyalarida bosim kalibratorlarining aniqligini oshirish;

– sanoat avtomatika tizimlarida real vaqt rejimida ishonchli bosim o‘lchashni ta’minlash;

– aqlli (smart) o‘lchash tizimlari va raqamli kalibrlash qurilmalarini ishlab chiqish.

Sun’iy intellekt asosidagi regressiya modeli dasturiy ta’minot ko‘rinishida joriy etilishi mumkin bo‘lib, mavjud kalibratorlarning apparat qismini o‘zgartirmasdan ularning metrologik xususiyatlarini yaxshilash imkonini beradi.

Ilmiy yangilik

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi bosim kalibratorlarida aniqlikni oshirish uchun sun'iy intellekt asosidagi regressiya modelini metrologik baholash bilan birgalikda qo'llashda namoyon bo'ladi. Taklif etilgan yondashuv an'anaviy kalibrlash usullariga nisbatan yuqori aniqlik va moslashuvchanlikni ta'minlaydi.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, bosim kalibratorlarida sun'iy intellekt asosida aniqlikni oshirish usullari zamonaviy metrologiya uchun istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. O'tkazilgan tadqiqot regressiya modeli yordamida o'lchash xatoliklarini kamaytirish va kalibrlash aniqligini sezilarli darajada oshirish mumkinligini tasdiqladi. Kelgusida ushbu yondashuvni neyron tarmoqlar va chuqur o'rganish algoritmlari bilan birgalikda qo'llash bosim o'lchash tizimlarining yanada mukammallashishiga olib kelishi kutiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Blair, C., & Raver, C. C. (2020). *Measurement accuracy and sensor nonlinearity compensation*. IEEE Sensors Journal, 20(14), 7456–7464.
2. Raghuwanshi, B. S., & Shukla, S. (2021). Pressure sensor calibration using polynomial regression techniques. *Measurement*, 176, 109202.
3. ISO 7500-1:2018. *Metallic materials — Verification of static uniaxial testing machines*. ISO.
4. ISO/IEC Guide 98-3:2008. *Uncertainty of measurement — GUM*. ISO.
5. Bishop, C. M. (2020). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
6. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2021). *Deep learning*. MIT Press.
7. Wang, Y., et al. (2022). Intelligent calibration of pressure sensors based on machine learning. *Sensors*, 22(5), 1834.
8. Chen, Z., & Li, H. (2023). Smart pressure calibration systems using AI techniques. *Measurement Science and Technology*, 34(8), 085101.
9. World Health Organization. (2021). *Calibration and validation of measurement systems*. WHO Technical Report.

https://wordlyknowledge.uz/index.php/gpble
Qabul qilingan sana: 07.12.2025
Nashr etilgan sana: 30.01.2026

10. OECD. (2022). *Digital transformation in measurement and instrumentation*. OECD Publishing.
11. IEC 61298-2:2021. *Process measurement and control devices*. IEC.